

Unax cooler 附 wet kiln 에서 secondary air 의 효용성에 대한 현장실험

홍 순 일

<쌍용양회 문경공장>

I. 서 론

Unax cooler 附 kiln 에는 연소용 air 공급 line 으로 primary air fan 外에 cooler 를 통과한 hot air 중 일부를 회수하여 가속시켜 다시 kiln 에 投入하는 secondary air fan 이 있다.

이것은 연료의 분산속도를 증가시켜 연소 반응 속도의 증가 내지는 화염 조절을 위해 사용되어 왔다. 특히 분탄을 연료로 사용할 때는 burner 의 구조상 secondary air fan 의 역할은 매우 큰 것이다.

그러나 bunker-C oil 만을 전소하게 되면, 이는 액체연료로서 固體인 분탄보다 연소 반응속도가 빠르고, burner nozzle 의 orifice plate 口徑 조절 및 blast pipe 의 개조로 효율을 높일 수 있다는 점에 착안하여 1차적으로 單口徑 orifice plate 로 교체한 No.1 kiln 에서 secondary air fan 을 정지 시킨후 운전한 결과 양호한 결과를 얻게되어 2차적으로 No.2 kiln 대보수 기간에 primary air duct 를 개조 시험 운전한 결과에 대해 연료 원단위, cooling 효율, clinker 품질에 대하여 검토하였다.

II. 1차 실험

- 실험日時 : 1975. 1. 1~1975. 2. 4.
- 실험 장비 : No.1 kiln (F.L.Smith Unax kiln)
- 실험 방법 : secondary air fan 을 정지시킨 후 secondary air duct 를 폐쇄하여 실험 전후의 가동 실적 대비.

(1) 열 효율의 증가로 인한 연료 원단위 감소

연료 원단위 감소는 이 실험을 하게된 근본적인 동기로서 500~600°C 의 hot air 와 冷空氣의 혼입으로 secondary air 의 온도는 150~250°C 로 되므로 열 소비가 적지않아 secondary air fan 을 정지 시키면 burner 및 blast pipe 를 B.C oil 전소용으로 개조하기 전이라 하더라도 연소 및 화염상태에 큰 지장을 받지 않는 한 다음과 같은 연료 원단위의 감소 효과를 예상하였다.

$$Q = V \cdot \bar{C}_p \cdot \Delta t$$

$$= 0.3 \times 0.315 \times 350 = 33 \text{ kcal/kg-clinker.}$$

where. Q : secondary air 에 의한 열 소비량.

V : secondary air 량.

$$0.3 \text{ Nm}^3/\text{kg-clinker.}$$

C_p : 150°~500°C 사이 air 의 평균비열

$$0.315 \text{ kcal/Nm}^3 \text{ C}$$

Δt : secondary air 吸入 pipe 와 blowpipe 出口의 온도 차. (500~150°C)

$$u = Q/H = 33,000/9,215 = 3.58 \text{ l/ton-clinker.}$$

where. u : secondary air 에 의한 소비열을 B.C oil 로 환산한 량.

H : bunker-C oil 발열량 (9,215 kcal/l-B.C oil)

上記式에 의하면 cooler 를 통과한 hot air 중 一部를 secondary air fan 으로 회수하지 않고, 그대로 연소에 참여시킴으로써 3.58 l/ton-cl' 의 bunker-C oil 을 절감할 수 있다.

그리고 이를 No.1 kiln 에 직접 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

<表-1> 실험 전후의 No1. kiln 연료 원단위 실적 비교

	실험 전 (1.1~1.22)	실험 후 (1.23~2.4)	비 고
日 當 clinker 생산량	384 tons/day	384 tons/day	3.86 l/ton-cl' 의 B.C oil 절감
B.C oil 원단위	150.95 l/ton-cl'	147.09 l/ton-cl'	
calorie consumption	1.391 kcal/kg-cl'	1.355 kcal/kg-cl'	

<表-2> 실험 전후의 To kiln slurry 및 clinker 화학분석 대비

특성치	구분	To. kiln slurry		clinker	
		실험 전	실험 후	실험 전	실험 후
+88μ%		7.8	6.9		
200 μ%		2.0	1.6		
water %		31.60	31.92		
total CO ₂ %		78.10	78.09		
MgCO ₃ %		3.47	3.49		
CaCO ₃ %		73.99	73.95		
L.S.F.		91.1	91.2	90.8	90.8
S.M.		2.39	2.43	2.47	2.49
I.M.		1.84	1.86	1.93	1.95
free CaO%				1.0	0.7

실험 후의 실적에 의하면 실험전에 비해 예상보다 0.28 l/ton-cl' 의 더 많은 연료 절감 효과를 얻었는데 이는 다음에서 언급할 화염상태의 安定化로 전보다 안정된 상태에서의 kiln 운전이 가능하였던 결과로 생각된다.

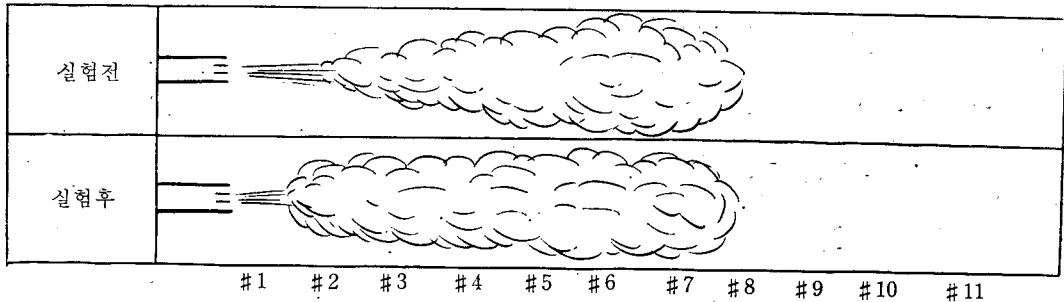
(2) flame 의 형태 및 조절

flame 의 형태는 한국 양회공업 협회 발행 cement 지의 기술론총, primary air 에 대한 小考 (양재균)의 flame 의 길이 측정 방법을 택하여 측정 한 결과 <表-3> 과 같이 shell 표면 온도에 별 차이가 없는 것으로 나타났으므로 flame 의 길이에는 별 차이가 없는 것으로 판단되었으며 육안으로 관찰공을 통해 모양, plume 의 길이, Ignition point 등을 비교한 결과 <그림-1> 과 같이 나타났다.

<表-3> 실험 전후의 shell 온도 비교 (단위 : °C)

측정지점	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12
실험 전	270	150	130	190	170	210	170	140	130	110	90	90
실험 후	250	170	140	170	230	260	210	150	120	90	100	120

註 : 측정 지점의 번호는 #1 roller 부터의 길이임.



<그림-1>

실험 전에는 plume 이 길고 眞 flame 이 짧았으나 실험 후에는 Ignition point 가 nozzle 바로 앞에 형성 되면서 plume 이 아주 짧고 眞 flame 이 긴 형태로서 total flame 에는 별 차이가 없었다.

그러나 이때 단 한가지 secondary air fan 의 정지로 blast pipe 의 개조 없이는 flame 의 조절이 곤란하게 되었다. 물론 pipe 의 이동, primary air 량 및 exit gas 량을 조절함으로써 일부 화염을 변경시킬 수 있었으나 연소공기량의 변화를 가져옴으로써 발생하는 kiln 내부의 상태 변화를 감수해야 되기 때문에 bunker-C oil 을 전소하는 한은 혹 있을지도 모를 flame 전후의 惡性 coating ring 의 제거 및 연와의 부분적 과열로 인한 수명 단축이 우려되므로 현재 사용중인 분탄과의 혼소용 burner 를 개조하지 않을 경우 문제점으로 등장할 가능성이 많다.

그러나 현재 blast pipe 의 개조가 추진되고 있으므로 이는 자연히 해소될 것으로 본다.

(3) secondary air fan motor 정지로 인한 전력 원단위 감소

No.1 kiln 에 사용되는 secondary air fan motor 는 F.L. Smidth 제품으로 37/50 kw/Hp, 440V 1,170r.p.m. 의 motor 로서 cyclone 에 달린 air sluice motor 와 함께 정지시킬 경우 1,398 kw

/ton-clinker의 전력 원단위 감소가 예상되었다.

① secondary air fan moter.

$$\begin{aligned}
 W &= \sqrt{3} V A \cos\phi \\
 &= \sqrt{3} \times 440 \times 36 \times 0.7 \\
 &= 22,000W = 22kw
 \end{aligned}$$

$$Wh = 22kw/16tons/hr = 1.375kwh/ton-cl'$$

wher W : 시간당 전력 소모량.

V : 전압(440V)

A : 전류(36A)

cosφ : motor 역율

② air sluice motor.

시간당 전력소모량 : 0.37 kw

clinker ton 당 전력소모량 : 0.023 kwh/ton-cl'

③ total 시간당 전력 소모량 : 22.37 kw

clinker ton 당 전력 소모량 : 1.398 kwh/ton-cl'.

실제 실험 기간중 실험 전후를 비교하면 <表-4>에 나타난 바와 같이 1.295 kwh/ton-cl'의 전력 원단위가 감소되었는데 이는 예상보다 0.103 kwh/ton-cl'가 부족한 현상으로 나타났다.

<表-4>

실험 전후의 전력 원단위 비교

	실험 전 (1.1~1.22)	실험 후 (1.23~2.4)
clinker 생산량	8.439 ㄲ	5.005 ㄲ
전력 소모량	97,525 kwh	51,355 kwh
전력 원단위	11,556 kwh/ton-cl'	10,261 kwh/ton-cl'

(4) secondary air(hot air)의 이용 방안

secondary air fan을 중지시켜 良好한 결과를 얻음으로 해서 secondary air duct, cyclone 및 fan motor의 효율적인 전용 문제를 강구케 되었다. 그중 가장 간편하고 효율적인 방법으로 현재의 cyclone과 air duct를 그대로 이용하여 primary air duct에 연결 secondary air를 primary air로 이용하는 방법이다.

순연소 공기중 10%를 1차 공기로 사용한다 할때 이를 fresh air가 아닌 cooler를 통과한 hot air로 대체할 경우 연소 공기 전량을 unax cooler로 공급하게 되므로 해서 clinker cooling의 효과를 증대시켜 줌과 동시에 다음과 같은 연료 절약의 2중 효과를 기대할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Q &= VC_p \Delta t \\
 &= 0.173 \times 0.311 \times 130 = 7kcal/kg-clinker
 \end{aligned}$$

$$u = Q/H = 7,000/9,215 = 0.76 \text{ l/ton-clinker}$$

wher Q : fresh air 를 hot air 로 교체함으로써 절감되는 열량

V : primary air 량(연소공기의 10%) 0.173 Nm³/kg-clinker

C_p : 20°C~150°C 사이의 air 의 평균비열 0.311 kcal/Nm³

Δt : hot air 와 fresh air 의 온도차

u : 열량을 B.C. oil 용량으로 환산한 량

III. 2次 실험

실험 기간 : 3月 19日~3月 31日

실험 장비 : No.2 kiln(unax kiln)

실험 방법 : primary air duct 를 별도와 같이 개조 연료 원단위 cooling 효과에 대해 2月 실적과 비교 검토.

1次 실험 결과 연료 원단위 4l/ton-clinker 이상 절감할 수 있고 cooling 효과를 높여 clinker 의 질적 향상을 이룰 수 있음에 착안 2차적으로 3月 1일부터 3月 15일까지 No.2 kiln 대 보수 시 primary air duct 를 별도와 같이 개조한 후 3月 19일부터 3月 31일까지 시험 운전한 결과를 2月中 No.2 kiln 의 가동 실적과 비교 검토하였다.

(1) hot air 이동을 위한 primary air pipe 개조 내용

개조 내용은 별도로 나타난 바와 같이 종전의 primary air duct 가 coal mill 의 coal dust 수송을 위해 coal mill-cyclon-primary air fan 으로 연결되던 것을 fan suction 부위를 절단하여 kiln 内部에서 hot air 를 suction 할 수 있도록 cyclon 에서 직접 duct 를 연결하였다.

<表-5>

개조 전후의 No.2 kiln 가동 현황 대비

특성치		측정기간	개 조 전 (2月)	개 조 후 (3月)
slurry 水	分		31.86 %	31.01 %
chain 후	수 분		1.99 %	0.77 %
slurry 분	말 도(+88μ)		6.14 %	8.61 %
1次 공 기	온 도		15°C	110°C
	공 기 량		0.3 Nm ³ /kg-cl'	0.3 Nm ³ /kg-cl'
2次 공 기	온 도		150°C	—
	공 기 량		0.3 Nm ³ /kg-cl'	—
연 소 공 기	량		1.73 Nm ³ /kg-cl'	1.66 Nm ³ /kg-cl'
냉 가 공 기	량		1.43 Nm ³ /kg-cl'	1.66 Nm ³ /kg-cl'
clinker 온	도		180°C	140°C
日 當 clinker	생 산 량		379.2 tons/day	391.2 tons/day
연 료 원 단 위			151.6 l/ton-cl'	145.3 l/ton-cl'

<表-6> Primary air duct 개조 전후의 clinker 분석 비교

특성치		측정기간	개 조 전 (2.1~2.28)	개 조 후 (3.19~3.31)
L.S.F.			90.8	91.4
S.M.			2.36	2.36
I.M.			2.09	1.93
free C ₂ O%			0.7	0.8
finess	blaine		2994	3008
	resid(+88μg)		13.1(13)	13.1(1.3)
Setting time	Initial(min)		259	253
	final(hrs)		6:44	6:22
soundness(%)			0.20	0.19
compressive strength	3 ds		147 kg/cm ²	164 kg/cm ²
	7 ds		215 kg/cm ²	233 kg/cm ²

이와 같이 한 결과 아직 duct의 保溫 장치가 되어있지 않아 기대한 만큼 150°C의 hot air를 얻지는 못했으나 현재 90~130°C 사이에서 primary air 온도가 유지되고 있다.

(2) 개조 전후의 비교

<表-5> 및 <表-6> 과 같다.

금번 대 보수중 primary air duct 개조 외에 preheating zone의 chain 증가(4 raw)로 drying time의 단축이 chain後 水分 감소로 나타났음을 알 수 있어 열소비 절감에 대해서 함께 검토되었다.

(3) 연료 원단위 감소 현황

<表-5>에 의하면 개조 후의 실적이 종전보다 약 6.3l/ton-cl'의 bunker-C oil 절감으로 나타났는데 이는 slurry 水分의 현저한 감소, preheating zone의 chain 증설, primary air duct 개조 등이 복합적 요인이 되어 나타난 결과이다.

이를 절감 요인에 대한 항목별로 분류하여 보면

- ① 原料 水分 감소로 인한 증발열 감소 : 1.8l/ton-cl'
- ② preheater chain 증설로 waste gas에 의한 폐열감소 : 1.2l/ton-cl'
- ③ primary air duct 개조 : 3.3l/ton-cl'

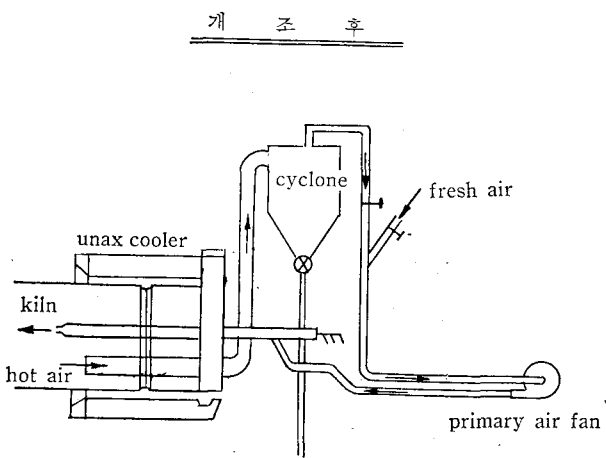
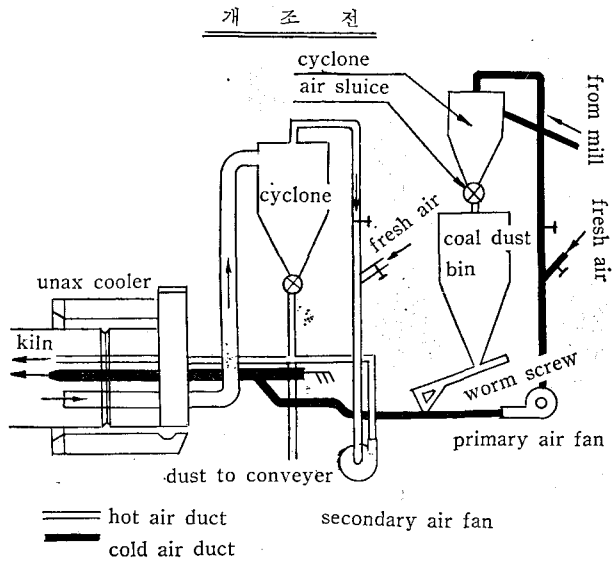
로 나타났다.

이중 primary air duct 개조에 의한 연료 원단위 감소는 3.3l/ton-cl'로서 앞서 검토된 량인 4.3l/ton-cl' 보다 약 1l/ton-cl' 미달된 것으로 나타났다. 그러나 이는 개조후 초기단계의 실적으로 앞으로 좀더 노력하면 1l/ton-cl' 더 연료의 절감을 이룩할 수 있으리라 생각된다.

(4) cooling 효율 증대

cooling 효율 증대는 <表-5>에 나타난 바와 같이 연소공기 전량을 cooler 를 통과한 hot air 를 사용하게 되므로 해서 실제 약 0.23 Nm³/kg-cl' 의 cooling air 의 증가를 보게 됨에 따라 자연 냉각 효율도 높아졌다.

이의 측정을 위해 당 공장에는 아직 clinker 온도 측정기가 없어 clinker 온도는 직접 측정



<그림-2> unax kiln 의 연소용 공기 공급 line

치 못하고 cooler out-let 부위에 설치되어 있는 clinker chute 에서의 clinker 복사열을 측정 검토한 결과 개조전에는 平均 180°C 이던 것이 개조후 140°C 로 나타나 약 -40°C 의 냉각 효과를 보게 되었다.

이와 같이 clinker 의 냉각효과의 증대에 따라 clinker 의 質的 向上을 기할 수 있었는데 이를 <表-6> 에 나타난 바와 같이 3일 강도 및 7일 강도를 비교 검토한 결과 양측 모두 약 17 kg/cm² 의 向上된 것으로 나타났다.

IV. 결 론

以上 2 차례의 연소장치의 air 공급 line 에 대해 현장 실험 및 개조결과 다음과 같은 결론에 도달했다.

1. unax cooler 附 kiln 에서 연료로 bunker-C oil 을 使用하게 되면 secondary air 는 열효율 면에서 아무 도움이 되지 않고 있으며 단지 flame 의 조정 역할 밖에는 할 수 없다.
2. unax kiln 에서 secondary air fan 을 제거시킬 경우 primary air blast pipe 는 개조되어야 한다.
3. secondary air fan 의 정지 및 primary air duct 의 개조 결과 전력 원단위 약 1.295 kwh/ton-cl' 연료 원단위 약 4 l/ton-cl' 를 절감시킬 수 있다.
4. unax kiln 에서 primary air duct 를 개조함으로써 全연소 공기를 cooler 를 통과한 hot air 로 使用하게 되면 냉각 효율의 증대 및 clinker 의 質的 向上을 꾀할 수 있다.